

# Modular Multilevel Converter에서 영상분 전류제어기의 설계

김태형, 이중학, 김동환, 권병기  
포스코 ICT 기술연구소

## Design of Zero-sequence Current Controller in Modular Multilevel Converter

Tae-Hyeong Kim, Jong-Hak Lee, Dong-Hwan Kim, Byung-Ki Kwon  
POSCO ICT R&D Center

### ABSTRACT

본 논문에서는  $\Delta$ 결선 또는 3상 4선식 Y결선으로 구성된 Modular Multilevel Converter(MMC)의 동기좌표계에서의 영상분 전류제어방법을 제안한다. 제안된 영상분 전류제어방법은 새로운 가상 2상 전류 생성방법을 사용하며, 기존의 가상 2상 전류 생성방법보다 과도상태 응답특성과 파라미터 오차에 대한 성능이 우수함을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

### 1. 서론

계통망의 안정화를 위해 사용되는 STATCOM은 대용량화를 위한 방식으로 MMC(Modular Multilevel Converter)구조가 많이 관심 받고 있다.<sup>[1]</sup> MMC 방식은  $\Delta$ 결선 또는 Y결선으로 구성할 수 있으며, STATCOM에서는 제어상의 이점으로 영상분 전류가 제어 가능한  $\Delta$ 결선 또는 3상 4선식 Y결선으로 시스템을 구성한다. MMC를 직류 측에 에너지 저장장치를 포함하지 않는 형태로 구성하게 되면, 계통의 무효성분 전류 또는 역상분 전류를 보상하는 경우 직류단 전압의 변동이 발생하게 되는데 이를 보상하기 위해 영상분 전류제어를 수행한다.

본 논문에서는  $\Delta$ 결선 또는 3상 4선식 Y결선으로 구성된 MMC의 영상분 전류를 제어하기 위한 새로운 가상 2상 전류생성 방법을 갖는 영상분 전류제어기를 제안하고 시뮬레이션을 통해 우수한 성능을 검증하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 영상분 전류의 제어 방법

영상분전류와 같은 단상 시스템에서의 전류제어는 사용되는 좌표에 따라 크게 정지좌표계를 이용한 방식과 동기좌표계를 이용한 방식으로 나눌 수 있다. 정지좌표계에서의 PI(Proportional Integral) 제어는 정상상태의 오차가 반드시 존재하기 때문에 특정 주파수에서 제어기 게인을 매우 크게 하는 PR(Proportional Resonant) 제어방식이 기존 정지좌표상 PI제어의 단점을 극복하기 위해 많이 사용된다.<sup>[2]</sup> 동기좌표계에서의 PI제어는 단상 전류를 동기좌표축으로 변환시키기 위해 가상의 2상 전류를 생성하는 방법을 사용한다. 그림 1과 그림 2는

정지좌표계 PR제어기와 가상의 2상 전류를 갖는 동기좌표계 PI제어기로 구성된 영상분 전류제어기를 나타낸다. (여기서  $v_s$ 는 계통전압,  $v_c$ 는 출력전압,  $i_c$ 는 출력전류를 나타낸다.)

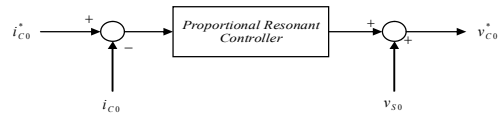


그림 1 정지좌표계 PR(proportional resonant)제어기

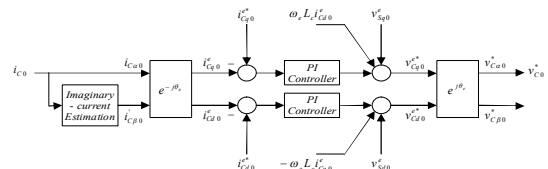


그림 2. 가상의 2상 전류를 갖는 동기좌표계 PI제어기

#### 2.2 가상 2상 전류 생성을 이용한 영상분 전류 제어

동기좌표계에서의 PI제어를 위해서는 단상 전류를 동기좌표축으로 변환시키기 위한 가상의 전류를 생성해야 하며, 이 가상의 전류를 만드는 방식에 따라 APF(All Pass Filter)를 이용한 방식, 지령신호를 이용한 방식, 그리고 회로방정식을 이용한 방식 등이 제안되었다.<sup>[3]</sup>

그림 3은 APF를 이용하여 가상의 2상 전류를 생성하는 방법으로, APF의 차단주파수는 영상분전류의 주파수와 동일하게 설정하며, 전체 영상분 전류제어기의 응답특성은 이 APF 주파수에 의해 제약된다.

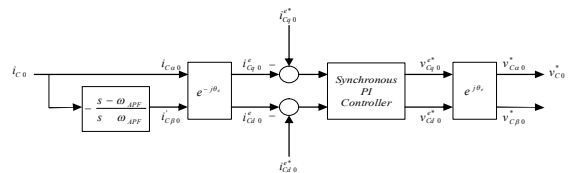


그림 3. APF를 이용한 영상분 전류제어기

그림 4는 영상분 전류제어기의 지령신호를 이용하여 가상의 2상 전류를 생성하는 방식이다. 이 방식은 비교적 빠른 응답특성을 보이지만, 지령신호가 급격히 변동하거나 전류제어기의 게인이 낮은 경우 불안정한 특성을 가진다.

그림 5는 영상분 전력회로의 회로방정식을 이용하여 가상의 2상 전류를 생성하는 방법으로 다른 방식에 비해 매우 빠르고 안정적인 응답특성을 보이지만, 회로방정식에 쓰이는 파라미터에 오차가 존재하는 경우 그 영향이 감쇄하지 않고 계속 지속된다는 단점이 있다.

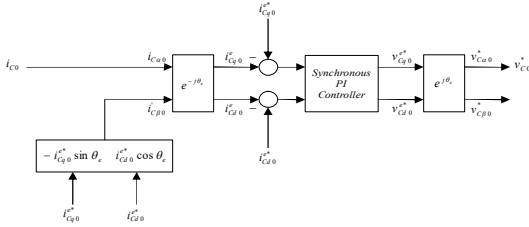


그림 4. 지령신호를 이용한 영상분 전류제어기

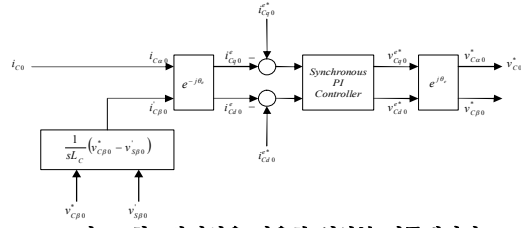


그림 5. 회로방정식을 이용한 영상분 전류제어기

전류지령에 따른 실제전류는 전류제어기에서 설계한 응답특성에 따라 그 값을 추종하게 되므로 설계한 전류제어기와 동일한 응답특성을 가지는 저역통과필터에 전류지령을 통과시킨 값으로 가상의 2상 전류를 생성하면 파라미터 오차에 직접적인 영향을 받지 않으면서 비교적 빠른 응답성을 가지는 가상전류를 생성할 수 있다. 그림 6은 제안한 영상분 전류제어 블록도이다.(여기서  $\omega_{CC}$  는 전류제어기의 대역폭을 나타낸다.)

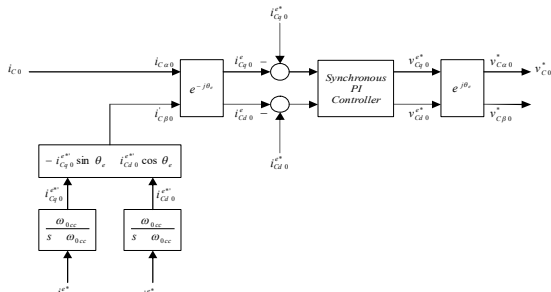


그림 6. 제안하는 방식을 이용한 영상분 전류제어기

### 3. 시뮬레이션

시뮬레이션에서 영상분 전류제어기의 응답특성을 비교하였다.(영상분 전류 제어기 대역폭 : 300rad/s) 그림 7에서는 영상분전류 지령치를 변동시켰을 때, 영상분 전류제어기들의 응답특성을 비교하였고. 그림 8은 제어기에서 사용하는 리액터의 파라미터가 실제 값과 다른 경우에 대해 회로방정식을 이용한 방식과 제안하는 방식의 영상분 전류제어기를 비교하였다. 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있듯이, 제안한 영상분 제어방식은 다른 제어방식들에 비해 빠르고 안정적인 응답특성을 보일 뿐 아니라 파라미터의 변동에도 강한 특성을 가짐을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서 제안한 지령신호의 응답성을 고려한 영상분 제어방식은 전류지령치가 급격히 변경되는 경우에도 빠르고 안정적인 제어특성을 보일 뿐 아니라, 파라미터 오차가 큰 경우에도 매우 강인함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

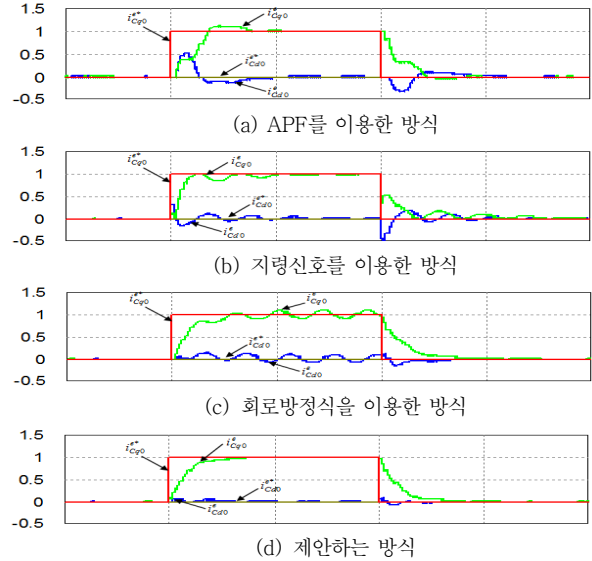


그림 7. 영상분 전류제어기들의 응답특성 비교(20[ms/div])

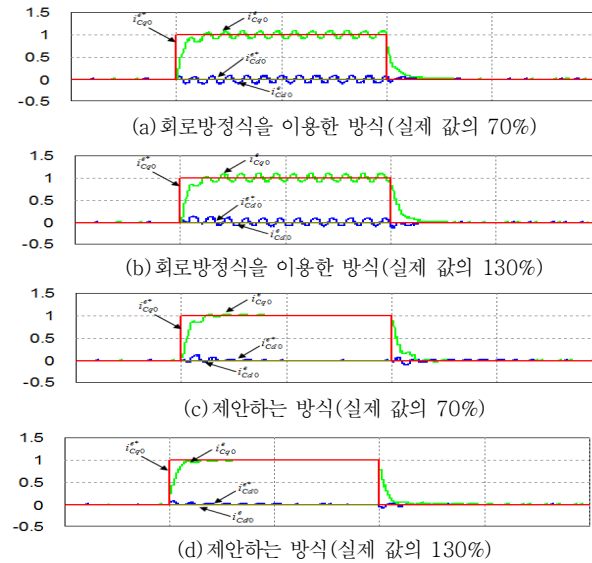


그림 8. 파라미터 오차가 존재할 때 영상분 전류제어기의 특성비교 (50[ms/div])

### 참고 문헌

- [1] F. Z. Peng, J. W. McKeever, and D. J. Adams, "A power line conditioner using cascaded multilevel inverters for distribution systems," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 34, no. 6, pp. 1293–1298, Nov./Dec. 1998.
- [2] D. N. Zmood and D. G. Holmes, "Stationary frame current regulation of PWM inverters with zero steady-state error," IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, no. 3, pp. 814–822, May 2003.
- [3] B. Bahrani, A. Rufer, S. Kenzelmann, and L. A. C. Lopes, "Vector control of single-phase voltage-source converters based on fictive-axis emulation," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 47, no. 2, pp. 831–840, Mar./Apr., 2011.